

10/812,887

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 7月31日

願番号
Application Number: 特願 2003-283591

[T. 10/C]: [JP 2003-283591]

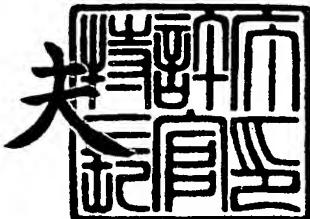
願人
Applicant(s): TDK株式会社

BEST AVAILABLE COPY

2004年 4月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

出証番号 出証特 2004-3028081

【書類名】 特許願
【整理番号】 99P05587
【提出日】 平成15年 7月31日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 27/06
【発明者】
【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内
【氏名】 江畠 克史
【特許出願人】
【識別番号】 000003067
【氏名又は名称】 TDK株式会社
【代表者】 澤部 肇
【代理人】
【識別番号】 100078031
【氏名又は名称】 大石 皓一
【選任した代理人】
【識別番号】 100121681
【氏名又は名称】 緒方 和文
【選任した代理人】
【識別番号】 100126468
【氏名又は名称】 田久保 泰夫
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 074148
【納付金額】 21,000円
【その他】 平成15年6月27日付で名称変更届を提出しております。
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

共振器内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、前記共振器内に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 2】

粉体状の誘電体および気体を、前記共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入することを特徴とする請求項 1 に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 3】

粉体状の誘電体および気体を、前記共振器内に形成された断面が略矩形状の閉空間内に封入することを特徴とする請求項 1 に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 4】

粉体状の誘電体および気体を、前記共振器内に形成された同軸状断面を有する閉空間内に封入することを特徴とする請求項 1 に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 5】

誘電体および気体からなる共振器に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 6】

前記共振器が、誘電体共振器であることを特徴とする請求項 5 に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 7】

前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の比誘電率の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 8】

前記誘電体の比誘電率の算出が、対数混合則、リヒトネットカーロータの式およびウイナーの式のいずれかの式を用いて行われることを特徴とする請求項 7 に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 9】

前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の誘電正接の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 10】

前記誘電体の誘電正接の算出が、混合則の式を用いて行われることを特徴とする請求項 9 に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 11】

前記電磁波の共振モードが、 TE_{011} モードであることを特徴とする請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 12】

前記誘電体が、乾燥していることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項 13】

粉体状の誘電体を前記共振器内に封入し、前記共振器内の閉空間が真空であることを特徴とする請求項1ないし12のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法に関するものであり、さらに詳細には、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

各種無線装置の高性能化に伴い、より高性能な高周波用のセラミックス誘電体が求められている。

【0003】

一般に、セラミックス誘電体は、粉体状の誘電体の形で、あるいは、粉体状の誘電体を焼成した焼成品の形で用いられている。また、粉体状の誘電体と樹脂などを種々の比率で混合した複合誘電体も、回路部品として用いられている。

【0004】

したがって、高周波用のセラミックス誘電体を開発するにあたっては、誘電体の誘電特性として、誘電体の複素誘電率を、粉体の状態で測定することが必要不可欠になる。

【0005】

粉体状の誘電体の複素誘電率のうち比誘電率は、たとえば、特開平6-138076号公報などに開示されるように、一定の間隔を置いて、対向するように、一対の電極が配置された容器内に、比誘電率を測定すべき粉体状の誘電体を封入し、一対の電極間に、電圧を印加して、粉体状の誘電体と空気との混合体の比誘電率を測定し、測定された混合体の比誘電率から、算出されていた。

【0006】

【特許文献1】特開平6-138076号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来の粉体状の誘電体の比誘電率の測定方法においては、数GHz以上の高周波帯域において、粉体状の誘電体の比誘電率を測定する場合には、浮遊容量や浮遊リアクタンスの存在が無理できなくなり、その結果、測定装置全体が共振し、高い精度で、粉体状の誘電体の比誘電率を測定できないという問題があった。

【0008】

また、従来は、粉体状の誘電体の複素誘電率のうち誘電正接を、所望のように、測定する実用的な方法は知られていなかった。

【0009】

したがって、本発明は、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することができる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明のかかる目的は、共振器内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、前記共振器内に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法によって達成される。

【0011】

本発明によれば、共振器内に、粉体状の誘電体および気体を封入して、共振器内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器から出力された電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、共振器内の誘電体と気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された混合体の複素誘電率および混合体中の誘電体の体積比率から、誘電体の複素誘電率を算出するように構成されているから、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することが可能となる。

【0012】

本発明の好ましい実施態様においては、粉体状の誘電体および気体を、共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入するように構成されている。

【0013】

本発明の好ましい実施態様においては、粉体状の誘電体および気体を、共振器内に形成された断面が略矩形状の閉空間内に封入するように構成されている。

【0014】

本発明の好ましい実施態様においては、粉体状の誘電体および気体を、共振器内に形成された同軸状断面を有する閉空間内に封入するように構成されている。

【0015】

本発明の前記目的は、誘電体および気体からなる共振器に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法によって達成される。

【0016】

本発明の好ましい実施態様においては、共振器が、誘電体共振器であるように構成されている。

【0017】

本発明の好ましい実施態様においては、混合体の複素誘電率の算出が、混合体の比誘電率の算出であり、誘電体の複素誘電率の算出が、誘電体の比誘電率の算出であるように構成されている。

【0018】

本発明の好ましい実施態様によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の比誘電率を測定することが可能となる。

【0019】

本発明の好ましい実施態様においては、誘電体の比誘電率の算出が、対数混合則、リヒトネッカーロータの式およびウイナーの式のいずれかの式を用いて行われるように構成されている。

【0020】

本発明の好ましい実施態様においては、混合体の複素誘電率の算出が、混合体の誘電正接の算出であり、誘電体の複素誘電率の算出が、誘電体の誘電正接の算出であるように構成されている。

【0021】

本発明の好ましい実施態様によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の誘電正接を測定することが可能となる。

【0022】

本発明の好ましい実施態様においては、誘電体の誘電正接の算出が、混合則の式を用いて行われるように構成されている。

【0023】

本発明の好ましい実施態様においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定

するときの共振モードは、無負荷Q値が高いTE₀₁₁モードを用いられるように構成されている。

【0024】

本発明の好ましい実施態様においては、乾燥している粉体状の誘電体を用いて複素誘電率が測定される。

【0025】

本発明の好ましい実施態様によれば、測定すべき粉体状の誘電体の水分を除去した後に、粉体状の誘電体の複素誘電率が測定されるから、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0026】

本発明の好ましい実施態様においては、粉体状の誘電体を共振器内に封入し、共振器内の閉空間が真空であるように構成されている。

【0027】

本発明の好ましい実施態様によれば、空洞共振器の閉空間に誘電体を封入し、空洞共振器の閉空間内を真空としてから、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定を行うことにより、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【発明の効果】

【0028】

本発明によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することができる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法を提供することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下、添付図面に基づいて、本発明の好ましい実施態様につき、詳細に説明を加える。

【0030】

図1は、本発明の好ましい実施態様にかかる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法を実施する測定装置のブロック図である。ここに、粉体状の誘電体の複素誘電率は、誘電体の比誘電率および誘電体の誘電正接を意味する。

【0031】

図1に示されるように、測定装置2は、空洞共振器4とネットワークアナライザ6と演算処理装置8を備えている。

【0032】

空洞共振器4は、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体および気体を封入するための円筒状の金属製容器によって構成されている。

【0033】

また、ネットワークアナライザ6は、空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から出力された電磁波を受け、空洞共振器4から受けた電磁波から、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定して、測定結果を、演算処理装置8に出力するように構成されている。

【0034】

演算処理装置8は、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、粉体状の誘電体の複素誘電率を算出するように構成されている。

【0035】

図2は、空洞共振器4の略斜視図であり、図3は、図2に示された空洞共振器4のX-X線に沿った略断面図である。

【0036】

図2に示されるように、空洞共振器4は、シリンド14、第一のピストン20、同軸ケーブル22、ねじ34a、34bおよび第二のピストン40を備えている。

【0037】

図3に示されるように、第一のピストン20は、第一の円板26と、第一の円板26の

中心から垂直に延びる第一の円柱体28とを備え、第一の円板26および第一の円柱体28には、2つの貫通孔30a、30bが形成され、第一の円柱体28の先端部には、円環状の溝32が形成されている。

【0038】

図3に示されるように、同軸ケーブル22は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入され、同軸ケーブル22の先端部には、ループアンテナ24が取り付けられている。

【0039】

図3に示されるように、第二のピストン40は、第二の円板42と、第二の円板42の中心から垂直に延びる第二の円柱体44を備えている。

【0040】

図3に示されるように、シリンダ14には、その中央部に、第一のピストン20の第一の円柱体28の外径および第二のピストン40の第二の円柱体44の外径に等しい内径を有する貫通孔16が形成されており、貫通孔16内には、上方から、第一のピストン20の第一の円柱体28が挿入され、下方から、第二のピストン40の第二の円柱体44が挿入されている。

【0041】

その結果、図3に示されるように、シリンダ14の貫通孔16内には、第一のピストン20の第一の円柱体28と、第二のピストン40の第二の円柱体44とによって、閉空間が形成されている。

【0042】

また、シリンダ14には、その軸に略直交する2つの貫通孔36a、36bが形成されており、貫通孔36a内には、第一のピストン20の第一の円柱体28の位置を調整するねじ34aが挿入され、貫通孔36b内には、第二のピストン40の第二の円柱体44の位置を調整するねじ34bが挿入されている。

【0043】

以上のように構成された測定装置2においては、以下のようにして、粉体状の誘電体の複素誘電率が測定される。

【0044】

粉体状の誘電体の複素誘電率を測定するにあたっては、まず、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が、空洞共振器4内に形成された閉空間内に封入され、ネットワークアナライザ6から、電磁波が、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、空洞共振器4内に出力される。

【0045】

電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から、電磁波が出力され、ループアンテナ24によって受信される。

【0046】

ループアンテナ24によって受信された電磁波は、同軸ケーブル22を介して、ネットワークアナライザ6に入力される。

【0047】

同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によって、共振モードのうち、TE₀₁₁モードでの共振周波数f₁、共振周波数f₁における挿入損失IL₁および電力半値幅△f₁、ならびにTE₀₁₂モードでの共振周波数f₂が測定される。

【0048】

一般に、空洞共振器4に、ネットワークアナライザ6から、電磁波を入力したときは、TE₀₁₁モードに対する縮退モードとして、TM₁₁₁モードが存在し、TE₀₁₁モードでの共振周波数と、TM₁₁₁モードでの共振周波数が重なり合って、TE₀₁₁モードでの共振周波数、挿入損失および電力半値幅を正確に測定できないという問題がある。しかし、本実施態様においては、第一のピストン20の第一の円柱体28の先端部には、溝32が形成

されており、空洞共振器4内に形成された閉空間内には、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が封入されているから、TE₀₁₁モードでの共振周波数とTM₁₁₁モードでの共振周波数を分離することができ、したがって、TE₀₁₁モードでの共振周波数を正確に測定することが可能となる。

【0049】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE₀₁₁モードでの共振周波数f₁、共振周波数f₁における挿入損失IL₁および電力半値幅Δf₁、ならびにTE₀₁₂モードでの共振周波数f₂が、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力される。

【0050】

TE₀₁₁モードでの共振周波数f₁、共振周波数f₁における挿入損失IL₁および電力半値幅Δf₁、ならびにTE₀₁₂モードでの共振周波数f₂が、ネットワークアナライザ6から、演算処理装置8に出力されると、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体10が、空洞共振器4の閉空間内に封入される。

【0051】

ここに、測定すべき粉体状の誘電体10は、予め、真空中に置き、または加熱等を行い、誘電体10に含まれる水分を除去することにより、乾燥されていることが好ましい。

【0052】

一般に、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定においては、粉体状の誘電体10の表面に吸着した水分の影響により、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定に誤差が生じるという問題がある。しかし、本実施態様においては、測定すべき粉体状の誘電体10の水分を除去した後に、粉体状の誘電体10の複素誘電率が測定されるから、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0053】

その結果、図3に示されるように、空洞共振器4の閉空間内に、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体の層12と、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18が形成される。

【0054】

次いで、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体10が封入された空洞共振器4内に、電磁波が、ネットワークアナライザ6から、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、出力される。

【0055】

ネットワークアナライザ6から、空洞共振器4内に、電磁波が入力されると、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から、電磁波が出力され、ループアンテナ24によって受信される。

【0056】

ループアンテナ24によって受信された電磁波は、同軸ケーブル22を介して、ネットワークアナライザ6に入力される。

【0057】

同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によって、共振モードのうち、TE₀₁₁モードでの共振周波数f₃、共振周波数f₃における挿入損失IL₃および電力半値幅Δf₃が測定される。

【0058】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE₀₁₁モードでの共振周波数f₃、共振周波数f₃における挿入損失IL₃および電力半値幅Δf₃が、演算処理装置8に出力される。

【0059】

演算処理装置8においては、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数f₁、挿入損失IL₁、電力半値幅Δf₁および共振周波数f₂が、式(1)ないし式(3)に代入され、空洞共振器4の内壁の実効導電率σ、粉体状の誘電体10が空洞共振器4の閉

空間内に封入されていない状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ₁および空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dが求められる。

【0060】

【数1】

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{c}{\pi} \sqrt{\frac{j'^2_{n_2 m_2} \cdot l_1^2 - j'^2_{n_1 m_1} \cdot l_2^2}{f_2^2 \cdot l_1^2 - f_1^2 \cdot l_2^2}} \\ H &= \frac{c}{2} \sqrt{\frac{j'^2_{n_2 m_2} \cdot l_1^2 - j'^2_{n_1 m_1} \cdot l_2^2}{f_1^2 \cdot j'^2_{n_2 m_2} - f_2^2 \cdot j'^2_{n_1 m_1}}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、

H：閉空間の見かけの高さ

D：閉空間の見かけの直径

j'_{n1m1}：n1次の第一種ベッセル関数の微分をj'_{n1}(x)としたときのj'_{n1}(x)=0なる第m1番目の解

j'_{n2m2}：n2次の第一種ベッセル関数の微分をj'_{n2}(x)としたときのj'_{n2}(x)=0なる第m2番目の解

c：真空中の光速度

である。

【0061】

【数2】

$$Q_1 = \frac{f_1 / \Delta f_1}{1 - 10^{-IL_1 / 20}} \quad (2)$$

ここに、

f₁：共振周波数Δ f₁：電力半値幅IL₁：挿入損失

である。

【0062】

【数3】

$$\sigma = \frac{4\pi f_1 Q^2 \left\{ J_{n_1 m_1}^4 + 2(J_{n_1 m_1} l_1 \pi)^2 \left(\frac{D}{2H} \right)^3 + \left(1 - \frac{D}{H} \right) \left(\frac{n_1 l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^2}{\mu_0 c^2 (J_{n_1 m_1}^2 - n_1^2)^2 \left\{ J_{n_1 m_1}^2 + \left(\frac{l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^3} \quad (3)$$

ここに、

σ ：空洞共振器の内壁の実効導電率

μ_0 ：真空中の透磁率

π ：円周率

である。

【0063】

次いで、演算処理装置8は、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数 f_3 、電力半値幅 Δf_3 、挿入損失 IL_3 および既に求められた空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dならびに閉空間内に封入された気体の層12の厚さ L_1 および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ L_2 を、式(4)および(5)に代入して、粉体状の誘電体10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値である Q_3 および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の複素誘電率のうち比誘電率 ϵ_{r2} を算出する。

【0064】

ここに、気体の層12の厚さ L_1 および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ L_2 は、予め設定された値であって、測定者によって設定されたあと、演算処理装置8に入力される。

【0065】

【数4】

$$Q_3 = \frac{f_3 / \Delta f_3}{1 - 10^{- IL_3 / 20}} \quad (4)$$

ここに、

f_3 ：共振周波数

Δf_3 ：電力半値幅

IL_3 ：挿入損失

である。

【0066】

【数5】

$$\left. \begin{aligned}
 L_1 \frac{\tan X_1}{X_1} + L_2 \frac{\tan X_2}{X_2} &= 0 \\
 X_1 &= \beta_1 L_1 \\
 X_2 &= \beta_2 L_2 \\
 \beta_1 &= \sqrt{\epsilon_{r1} k_0^2 - k_r^2} \\
 \beta_2 &= \sqrt{\epsilon_{r2} k_0^2 - k_r^2} \\
 k_r &= \frac{2j'_{nm}}{D} \\
 k_0 &= \frac{2\pi f_3}{c}
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、

 L_1 ：気体の層12の厚さ L_2 ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ

D：閉空間の見かけの直径

 ϵ_{r1} ：気体の比誘電率 ϵ_{r2} ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 j'_{nm} ：n次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_{n}(x)$ としたときの $j'_{n}(x)=0$ なる第m番目の解

である。

【0067】

次いで、演算処理装置8は、既に算出した実効導電率 σ 、粉体状の誘電体10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値である Q_3 、閉空間の見かけの直径D、閉空間内に封入された気体の層12の厚さ L_1 および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ L_2 を、式(6)に代入して、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の複素誘電率のうち誘電正接を算出する。

【0068】

【数6】

$$\tan \delta = \frac{A}{Q_3} - R_s B$$

$$A = 1 + \frac{W_{e1}}{W_{e2}}$$

$$B = \frac{P_{cy1} + P_{cy2} + P_{end1} + P_{end2}}{2\omega W_{e2} R_s}$$

$$W_{e1} = \frac{1}{8} \varepsilon_{r1} \omega^2 \mu_0^2 j_{01}'^2 J_0^2(j_{01}') \pi L_1 \left(1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right)$$

$$W_{e2} = \frac{1}{8} \varepsilon_{r2} \omega^2 \mu_0^2 j_{01}'^2 J_0^2(j_{01}') \pi L_2 \left(1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$P_{cy1} = \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}') D \pi L_1 \left(1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right)$$

$$P_{cy2} = \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}') D \pi L_2 \left(1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$P_{end1} = \frac{1}{2} R_s \left(\frac{X_1}{L_1} \right)^2 j_{01}' \pi J_0^2(j_{01}')$$

$$P_{end2} = \frac{1}{2} R_s \left(\frac{X_2}{L_2} \right)^2 j_{01}' \pi J_0^2(j_{01}') \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f_3 \mu_0}{\sigma}}$$

$$\omega = 2\pi f_3$$

(6)

ここに、

Q₃：粉体状の誘電体10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値

W_{e1}：気体の層12の電界の蓄積エネルギー

W_{e2}：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の電界の蓄積エネルギー

P_{cy1}：気体の層12の側壁における導体損

P_{cy2}：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の側壁における導体損

P_{end1}：気体の層12のピストン端面における導体損

P_{end2}：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18のピストン端面における導体損

ω ：角周波数

R_s：空洞共振器の内壁の表面抵抗

j'_{01} ：0次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_{00}(x)$ としたときの $j'_{00}(x)=0$ なる第一番目の解である。

【0069】

こうして、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の複素誘電率として比誘電率 ϵ_{r2} および誘電正接が算出される。

【0070】

さらに、演算処理装置8は、こうして算出した粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} を対数混合則、リヒトネットカーロータの式またはウイナーの式などの、粉体と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} から粉体状の比誘電率 ϵ_r を算出する式に適用して、粉体状の誘電体10の比誘電率 ϵ_r を算出する。

【0071】

周知のように、対数混合則は、次式によって表される。

【0072】

$$\log \epsilon_r = v_1 \log \epsilon_{r1} + v_2 \log \epsilon_{r2}$$

また、リヒトネットカーロータの式は、次式によって表される。

【0073】

$$\epsilon_r^k = v_1 \epsilon_{r1}^k + v_2 \epsilon_{r2}^k$$

一方、ウイナーの式は、次式によって表される。

【0074】

$$1/(\epsilon_r + u) = v_1 / (\epsilon_{r1} + u) + v_2 / (\epsilon_{r2} + u)$$

ここに、

ϵ_r ：粉体状の誘電体の比誘電率

ϵ_{r1} ：気体の比誘電率

ϵ_{r2} ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率

v_1 ：気体の体積比率

v_2 ：粉体状の誘電体の体積比率

k ：フィッティングパラメータ ($-1 \leq k \leq 1$)

u ：フィッティングパラメータ ($0 \leq u$)

である。

【0075】

これらの式によって、粉体状の誘電体の比誘電率 ϵ_r が算出される。

【0076】

たとえば、気体として空気を用い、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} から、粉体状の誘電体10の比誘電率 ϵ_r を算出する場合には、空気の比誘電率 ϵ_{r1} は1.0であり、また、空気の体積比率 v_1 および粉体状の誘電体の体積比率 v_2 は、混合体の層18に封入される気体の体積および粉体状の誘電体10の体積により決定されるから、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} が求められれば、粉体状の誘電体10の比誘電率 ϵ_r を算出することができる。

【0077】

さらに、演算処理装置8は、こうして算出した粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を粉体と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接から、粉体状の誘電正接を算出する式である混合則の式に適用して、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出する。

【0078】

周知のように、混合則は、次式によって表される。

【0079】

$$\tan \delta = v_1 \tan \delta_1 + v_2 \tan \delta_2$$

ここに、

$\tan \delta$ ：粉体状の誘電体の誘電正接

$\tan \delta_1$ ：気体の誘電正接

$\tan \delta_2$ ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接

v_1 ：気体の体積比率

v_2 ：粉体状の誘電体の体積比率

である。

【0080】

これらの式によって、粉体状の誘電体の誘電正接が算出される。

【0081】

たとえば、気体として空気を用い、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の誘電正接から、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出する場合には、空気の誘電正接 $\tan \delta_1$ は0と見なすことができ、また、粉体状の誘電体の体積比率 v_2 は、混合体の層18に封入される気体の体積および粉体状の誘電体10の体積により決定されるから、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の誘電正接 $\tan \delta_2$ が求められれば、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出することができる。

【0082】

以上のようにして、粉体状の誘電体10の比誘電率 ϵ_r および誘電正接が求められ、結果として粉体状の誘電体10の複素誘電率が求められる。

【0083】

本実施態様においては、数GHz以上の高周波帯域での誘電体の複素誘電率のうち比誘電率を測定する場合に、空洞共振器4内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、ネットワークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 f_3 、電力半值幅 Δf_3 および挿入損失 IL_3 を測定して、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} を算出し、さらに、算出した粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} を、対数混合則、リヒトネットカーロータの式またはウイナーの式などの、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} から粉体状の比誘電率 ϵ_r を算出する式に適用して、粉体状の誘電体10の比誘電率 ϵ_r を算出するように構成されている。

【0084】

したがって、本実施態様によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体10の複素誘電率のうち比誘電率を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0085】

また、本実施態様においては、数GHz以上の高周波帯域での誘電体の複素誘電率のうち誘電正接を測定する場合に、空洞共振器4内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、ネットワークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 f_3 、電力半值幅 Δf_3 および挿入損失 IL_3 を測定して、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を算出し、さらに、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接から粉体状の誘電正接を算出する混合則の式に適用して、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出するように構成されている。

【0086】

したがって、本実施態様によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体10の複素誘電率のうち誘電正接を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0087】

図4は、空洞共振器4の閉空間を真空にするための真空装置を含む粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法を実施する装置を表した図である。

【0088】

図4に示されるように、真空装置46は、真空槽48と真空ポンプ50を備えている。真空槽48は、真空槽48に接続されている真空ポンプ50を用いることによって、真空の状態となる。真空槽48の内部には、空洞共振器4が設けられおり、真空槽48の内部を

真空状態にすることによって、結果として空洞共振器4の閉空間も真空の状態となる。

【0089】

空洞共振器4内に粉体状の誘電体10を封入してから、真空装置46を用いて、空洞共振器4の内部を真空状態にすることにより、粉体状の誘電体10に含まれる水分を除去することが可能となる。粉体状の誘電体10に含まれる水分を除去した状態で、上述した粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定と同様に、空洞共振器4に封入した粉体状の誘電体10の複素誘電率を測定することにより、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0090】

以下、本発明の効果をより明瞭なものとするため、実施例を掲げる。

【実施例】

【0091】

密度が3.99 g/cm³で、平均粒径が9.8 μmの粉体状のAl₂O₃の試料A、密度が3.99 g/cm³で、平均粒径が17.8 μmの粉体状のAl₂O₃の試料Bおよび密度が3.99 g/cm³で、平均粒径が34.7 μmの粉体状のAl₂O₃の試料Cを用意した。

【0092】

測定装置として、図1に示された測定装置2を用いて、空洞共振器4に形成された閉空間内に、体積比率が0.39となるように、試料Aを封入し、真空中で試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率および誘電正接を測定した。

【0093】

まず、空洞共振器4に形成された直径16 mmの貫通孔16の下方から、第二のピストン40を挿入し、位置決めして、ねじ34bにより固定する。さらに、貫通孔16の上方から、第一のピストン20を挿入し、空気の層12の厚さL₁が12 mmとなるように、第一のピストン20を位置決めして、第一のピストン20を、ねじ34aにより固定し、空洞共振器4内に、空気を封入した。

【0094】

次いで、ネットワークアナライザ6から、周波数がGHz以上の電磁波を、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、空洞共振器4内に出力した。

【0095】

さらに、同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によって、共振モードのうち、TE₀₁₁モードでの共振周波数f₁、共振周波数f₁における挿入損失IL₁および電力半値幅Δf₁ならびにTE₀₁₂モードでの共振周波数f₂を測定した。

【0096】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE₀₁₁モードでの共振周波数f₁、共振周波数f₁における挿入損失IL₁および電力半値幅Δf₁ならびにTE₀₁₂モードでの共振周波数f₂を、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力した。

【0097】

TE₀₁₁モードでの共振周波数f₁、共振周波数f₁における挿入損失IL₁および電力半値幅Δf₁ならびにTE₀₁₂モードでの共振周波数f₂を、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力したのち、貫通孔16から、一旦、第一のピストン20を外して、貫通孔16内に、3.13 gの試料Aを投入した。次いで、第一のピストン20とは異なり、ピストンを構成する円柱体の先端部が平坦であるピストンを用いて、試料Aと気体とが混合した混合体の層18の厚さL₂が10 mmになるように加圧し、試料Aの表面をならしてから、再度、第一のピストン20を貫通孔16の上方から挿入し、空気の層12の厚さL₁が2 mmとなるように、第一のピストン20の位置を調整し、第一のピストン20を、ねじ34aによって固定した。

【0098】

さらに、試料Aが封入された空洞共振器4に、ネットワークアナライザ6から、電磁波

を、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、出力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から出力された電磁波を、ループアンテナ24によって受信し、同軸ケーブル22を介して、ネットワークアナライザ6に入力した。

【0099】

同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によって、共振モードのうち、TE₀₁₁モードでの共振周波数f₃、共振周波数f₃における挿入損失IL₃および電力半値幅Δf₃を測定した。

【0100】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE₀₁₁モードでの共振周波数f₃、共振周波数f₃における挿入損失IL₃および電力半値幅Δf₃を、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力した。

【0101】

次いで、演算処理装置8により、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数f₁、挿入損失IL₁、電力半値幅Δf₁および共振周波数f₂を、式(1)ないし式(3)に代入し、空洞共振器4の内壁の実効導電率σ、試料Aが空洞共振器4の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ₁および空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dを求めた。

【0102】

さらに、演算処理装置8により、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数f₃、電力半値幅Δf₃、挿入損失IL₃および既に求めた空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dならびに閉空間内に封入された空気の層12の厚さL₁および試料Aと空気とが混合した混合体の層18の厚さL₂を、式(4)および(5)に代入して、試料Aが空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ₃および試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率ε_{r2}を求めた。

【0103】

次いで、演算処理装置8により、既に算出した実効導電率σ、試料Aが空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ₃、閉空間の見かけの直径D、閉空間内に封入された気体の層12の厚さL₁および試料Aと気体とが混合した混合体の層18の厚さL₂を、式(6)に代入して、試料Aと気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を求めた。

【0104】

こうして、体積比率が0.39である試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率ε_{r2}および誘電正接が得られた。

【0105】

次いで、空洞共振器4に形成された閉空間内に封入する試料Aの質量を変化させて、試料Aの体積比率を、0.54まで、徐々に変化させて、試料Aの体積比率が0.39ときたと同様に、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率ε_{r2}および誘電正接を求めた。

【0106】

さらに、演算処理装置8により、異なる体積比率で、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率ε_{r2}から、試料Aの比誘電率ε_rを、以下のようにして、求めた。

【0107】

まず、試料Aの比誘電率ε_rの測定精度を向上させるために、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率ε_{r2}の測定誤差を考慮して、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率ε_{r2}を、最小二乗法により、対数混合則、リヒトネットカーロータの式およびウイナーの式にフィッティングし、横軸を、試料Aの体積比率、縦軸を、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率ε_{r2}として、グラフを作成した。

【0108】

図5および図6は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘

電率 ϵ_{r2} を、最小二乗法により、対数混合則にフィッティングして、得られたグラフであり、図6は、図5に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.39ないし0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

【0109】

図7および図8は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} を、最小二乗法により、リヒトネットカーロータの式にフィッティングして、得られたグラフであり、図8は、図7に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.39ないし0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

【0110】

図9および図10は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} を、最小二乗法により、ウイナーの式にフィッティングして、得られたグラフであり、図10は、図9に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.39ないし0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

【0111】

図5、図7および図9において、試料Aの体積比率が1.0であるということは、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、空気が存在せず、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、試料Aのみが存在していることを意味しているから、試料Aの体積比率が1.0のときの比誘電率の値が、試料Aの比誘電率 ϵ_r に対応し、したがって、図5、図7および図9に示された曲線から、試料Aの体積比率が1.0のときの比誘電率の値を読み取って、試料Aの比誘電率 ϵ_r を求めた。

【0112】

こうして、試料Aの比誘電率 ϵ_r が得られた。

【0113】

さらに、演算処理装置8により、異なる体積比率で、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の誘電正接から、試料Aの誘電正接を、以下のようにして、求めた。

【0114】

試料Aの誘電正接の測定精度を向上させるために、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の誘電正接の測定誤差を考慮して、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の誘電正接を、混合則の式に代入し、試料Aの体積比率と、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の誘電正接との関係を、原点を通る直線によって近似し、図11に示されるグラフを作成した。

【0115】

図11において、試料Aの体積比率が1.0であるということは、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、空気が存在せず、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、試料Aのみが存在していることを意味しているから、試料Aの体積比率が1.0のときの誘電正接の値が、試料Aの誘電正接に対応し、したがって、図11に示された曲線から、試料Aの体積比率が1.0のときの誘電正接の値を読み取って、試料Aの誘電正接を求めた。

【0116】

次いで、試料Aの比誘電率 ϵ_r および誘電正接を測定した場合と同様にして、試料Bの比誘電率 ϵ_r および誘電正接を求めた。

【0117】

すなわち、試料Aの比誘電率 ϵ_r および誘電正接を測定した場合と同様にして、空洞共振器4に形成された閉空間内に封入する試料Bの質量を変化させることによって、試料Bの体積比率を0.39ないし0.54の範囲で変化させて、試料Bと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 ϵ_{r2} および誘電正接を求め、試料Bの比誘電率 ϵ_r および誘電正接を求めた。

【0118】

さらに、試料Aおよび試料Bの比誘電率 ϵ_r および誘電正接を測定した場合と同様にして、試料Cの比誘電率 ϵ_r および誘電正接を求めた。

【0119】

試料A、B、Cの比誘電率 ϵ_r および誘電正接の測定結果は、表1に示されている。

【0120】

【表1】

記号	対数混合則	リヒトネットカーロータの式	ウイーナの式	誘電正接
A	13.11	9.14	12.34	0.0044
B	12.72	9.63	12.77	0.0031
C	12.33	8.27	10.58	0.0017

表1に示されるように、試料A、B、Cの比誘電率として、8.6ないし13.1の範囲内の値が得られ、本発明によれば、GHz以上の周波数における粉体状の誘電体の比誘電率が測定可能であることが判明した。

【0121】

また、本発明によれば、GHz以上の周波数における粉体状の誘電正接が測定可能であることも明らかになった。

【0122】

本発明は、以上の実施態様および実施例に限定されることはなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

【0123】

たとえば、前記実施態様および前記実施例においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE₀₁₁モードが用いられているが、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE₀₁₁モードを用いることは必ずしも必要でなく、TE₀₁₁以外のTEモードまたはTMモードを用いることもできる。

【0124】

また、前記実施態様および前記実施例においては、共振器として空洞共振器が用いられているが、共振器として空洞共振器を用いることは必ずしも必要でなく、同軸共振器や、誘電体共振器を用いることもできる。

【0125】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、空洞共振器が円筒状に形成されているが、空洞共振器が円筒状に形成されていることは必ずしも必要でない。

【0126】

また、前記実施態様および前記実施例においては、誘電体に混合する気体として、空気が用いられているが、誘電体に、空気を混合することは必ずしも必要でなく、アルゴンガスや窒素ガスを誘電体に混合させてもよい。

【0127】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されていることは、必ずしも必要でなく、空気に代えて、空洞共振器内の閉空間内に、低損失の誘電体を充填してもよい。

【0128】

また、前記図1に示されている実施態様および前記実施例においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に空気を封入することは必ずしも必要でなく、空洞共振器の閉空間に誘電体を封入してから、空洞共振器の閉空間内を真空としてもよい。

【0129】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28および第一の円柱体44を固定するために、ねじ34a、34bが用いられているが、第一の円柱体28および第二の円柱体44を固定するために、ねじ34a、34bを用いることは必ずしも必要ではなく、シリンダと第一の円板26の間に板を挿入することによって、第一の円柱体28を固定し、またはシリンダと第二の円板42の間に板を挿入することによって、第二の円柱体44を固定するようにしてもよい。

【0130】

また、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE₀₁₁モードの共振周波数とTM₁₁₁モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部の形状はとくに限定されるものではなく、第一の円柱体28の先端部に、円環状の導体板または誘電体板を取り付けてもよく、溝32が第一の円柱体28の先端部に形成されていることは必ずしも必要でない。

【0131】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE₀₁₁モードの共振周波数とTM₁₁₁モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部に円環状の溝32が形成されていることは必ずしも必要でなく、第二の円柱体44の先端部に溝32が形成されていてもよく、また、第二の円柱体44の先端部に、円環状の導体板または誘電体板が取り付けられていてもよい。

【0132】

また、前記実施態様および前記実施例においては、ループアンテナ24は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入された、同軸ケーブル22の先端部に取り付けられているが、ループアンテナ24は、第一の円板26および第一の円柱体28側に2本取り付けられることは、必ずしも必要がない。すなわち、ループアンテナ24は、第二の円板42および第二の円柱体44に2つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル22の先端部に取り付けられてもよく、また、第一の円板26および第一の円柱体28ならびに第二の円板42および第二の円柱体44に1つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル22の先端部に取り付けられてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0133】

【図1】図1は、本発明の好ましい実施態様にかかる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定装置のブロック図である。

【0134】

【図2】図2は、空洞共振器の略斜視図である。

【0135】

【図3】図3は、図2に示された空洞共振器のX-X線に沿った略断面図である。

【0136】

【図4】図4は、空洞共振器の閉空間を真空にするための真空装置を含む粉体状の誘電体の複素誘電率の測定装置を表した図である。

【0137】

【図5】図5は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 ϵ_{r2} を、最小二乗法により、対数混合則にフィッティングして、得られたグラフである。

【0138】

【図6】図6は、図5の一部拡大図である。

【0139】

【図7】図7は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 ϵ_{r2} を、最小二乗法により、リヒトネッカーロータの式にフィッティングして、得られたグラフである。

【0140】

【図8】図8は、図5の一部拡大図である。

【0141】

【図9】図9は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 ϵ_{r2} を、最小二乗法により、ウイナーの式にフィッティングして、得られたグラフである。

【0142】

【図10】図10は、図5の一部拡大図である。

【0143】

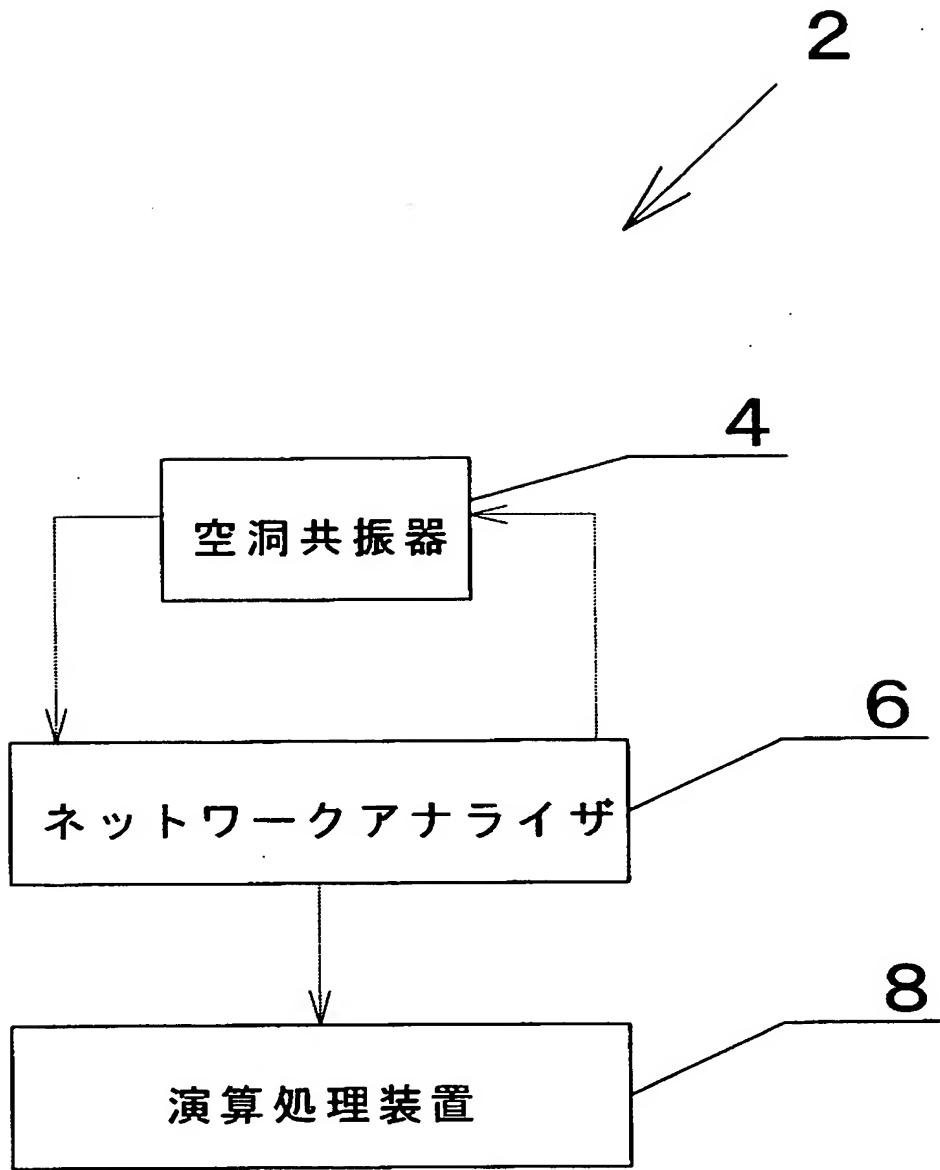
【図11】図11は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の誘電正接を、混合則の式に代入し、試料Aの体積比率と、試料Aと空気とが混合した混合体の誘電正接との関係を、原点を通る直線によって近似しグラフである。

【符号の説明】

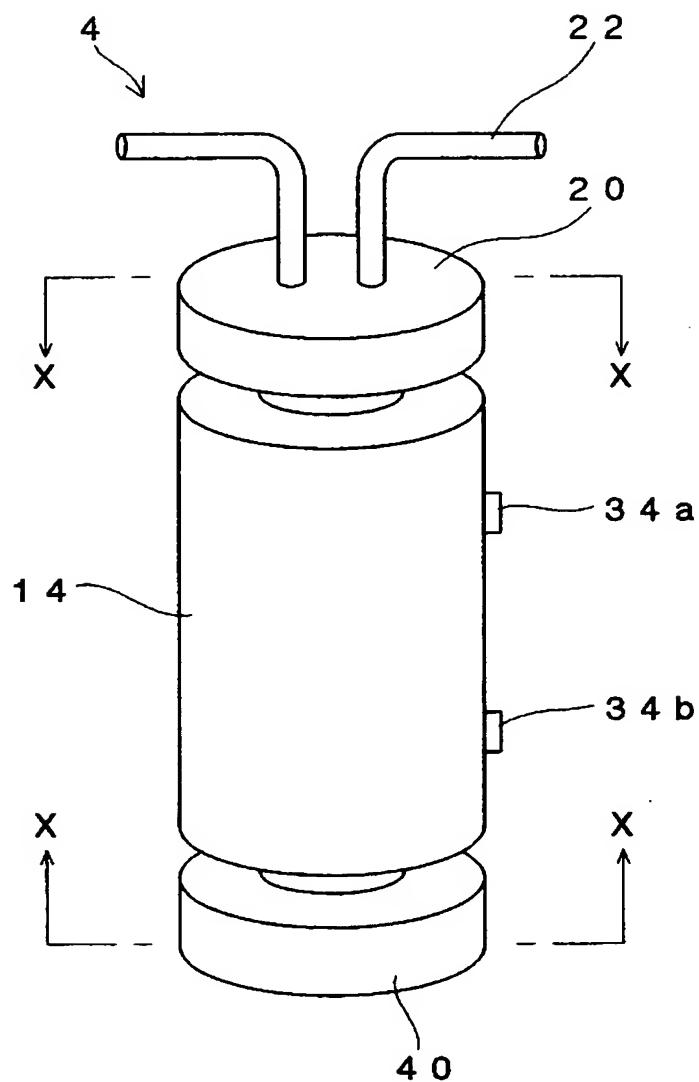
【0144】

- 2 測定装置
- 4 空洞共振器
- 6 ネットワークアナライザ
- 8 演算処理装置
- 10 誘電体
- 12 空気の層
- 14 シリンダ
- 16 貫通孔
- 18 混合体の層
- 20 第一のピストン
- 22 同軸ケーブル
- 24 ループアンテナ
- 26 第一の円板
- 28 第一の円柱体
- 30 a 貫通孔
- 30 b 貫通孔
- 32 溝
- 34 a ねじ
- 34 b ねじ
- 36 a 貫通孔
- 36 b 貫通孔
- 40 第二のピストン
- 42 第二の円板
- 44 第二の円柱体
- 46 真空装置
- 48 真空ポンプ
- 50 真空槽

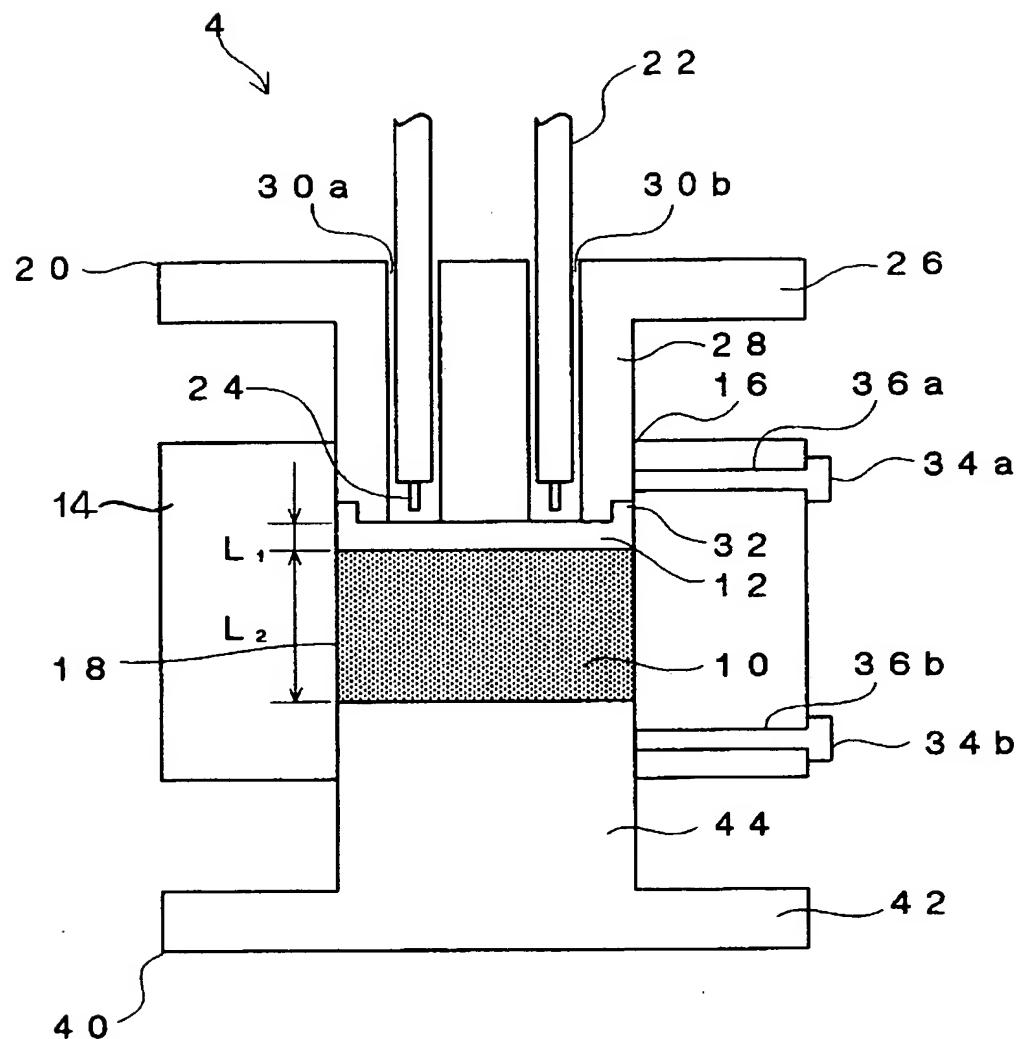
【書類名】図面
【図1】



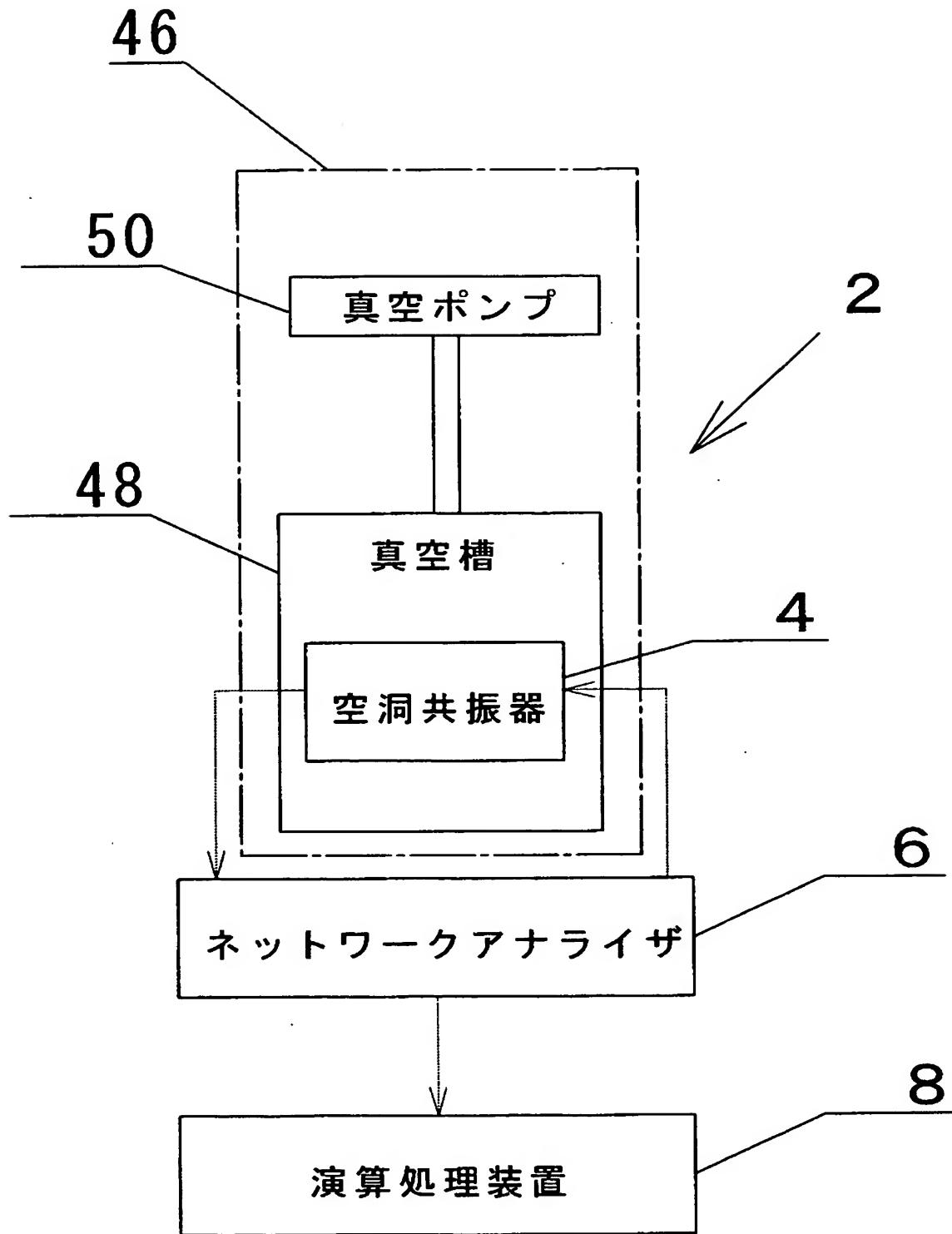
【図2】



【図3】

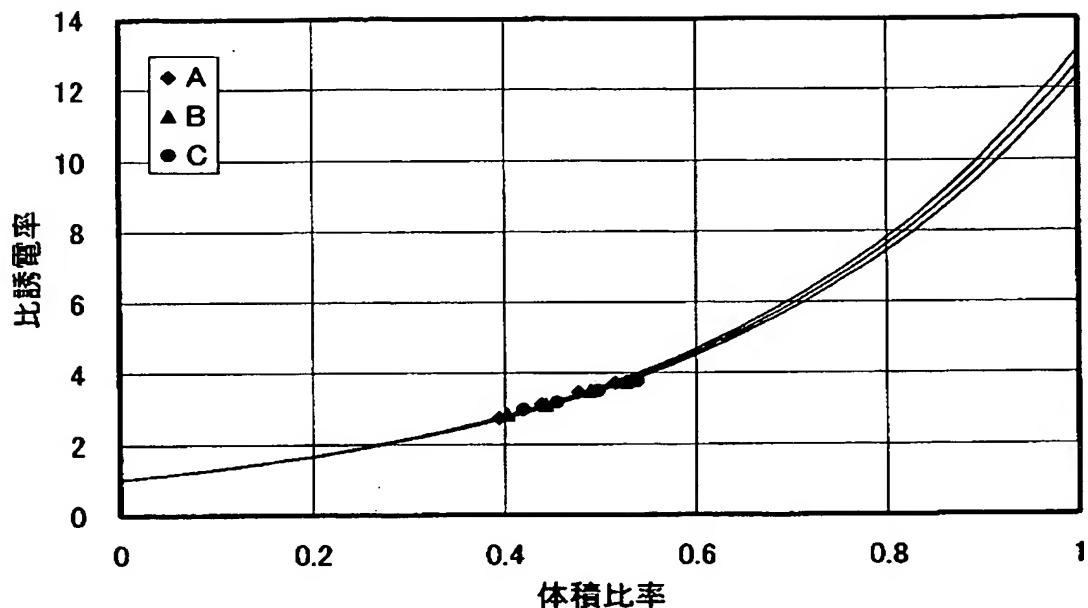


【図4】



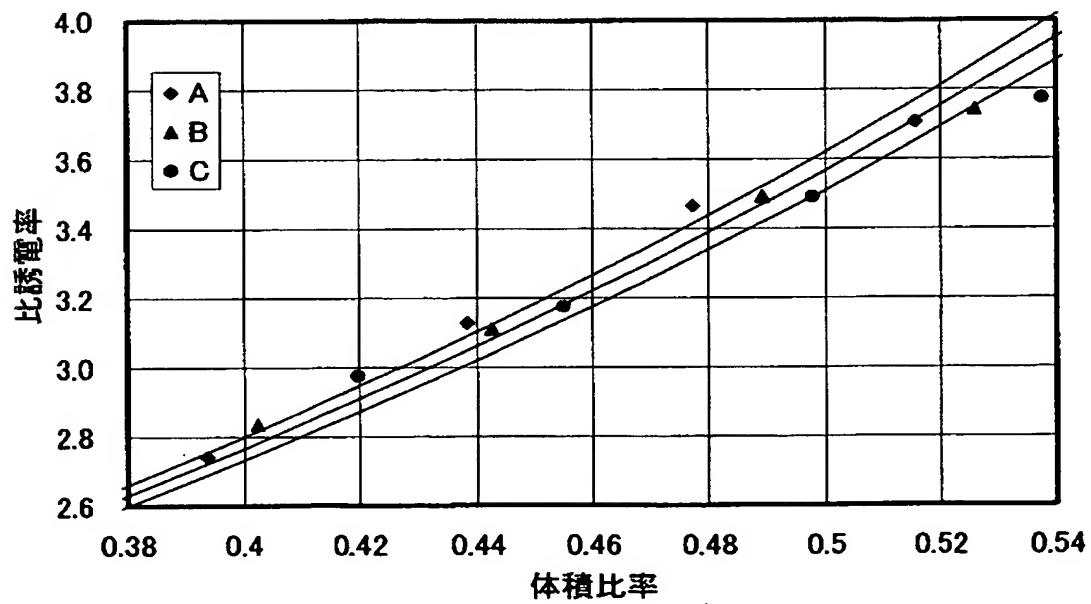
【図5】

対数混合則



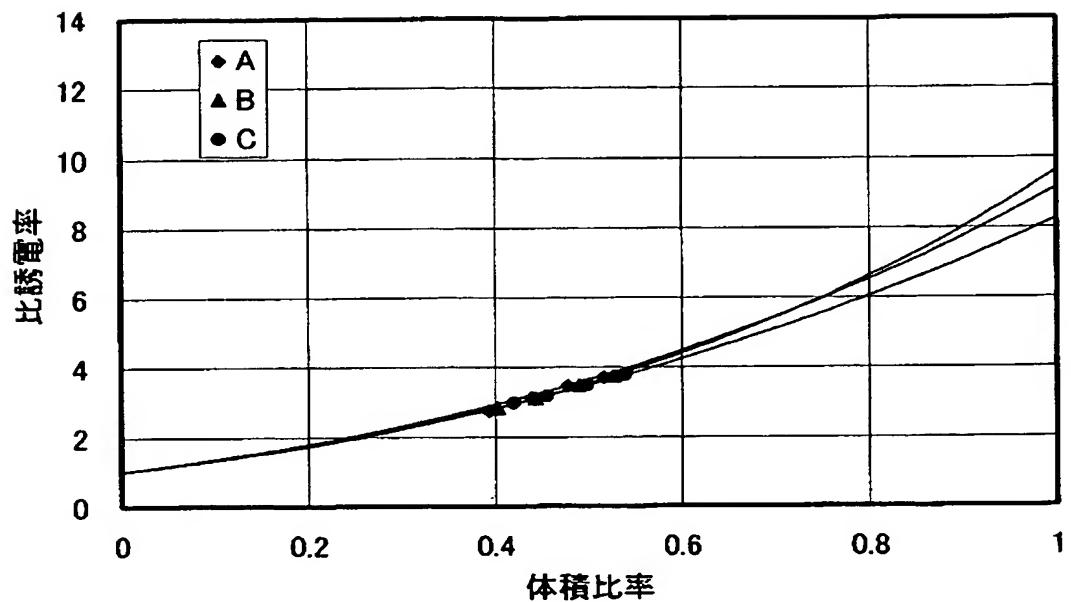
【図6】

対数混合則



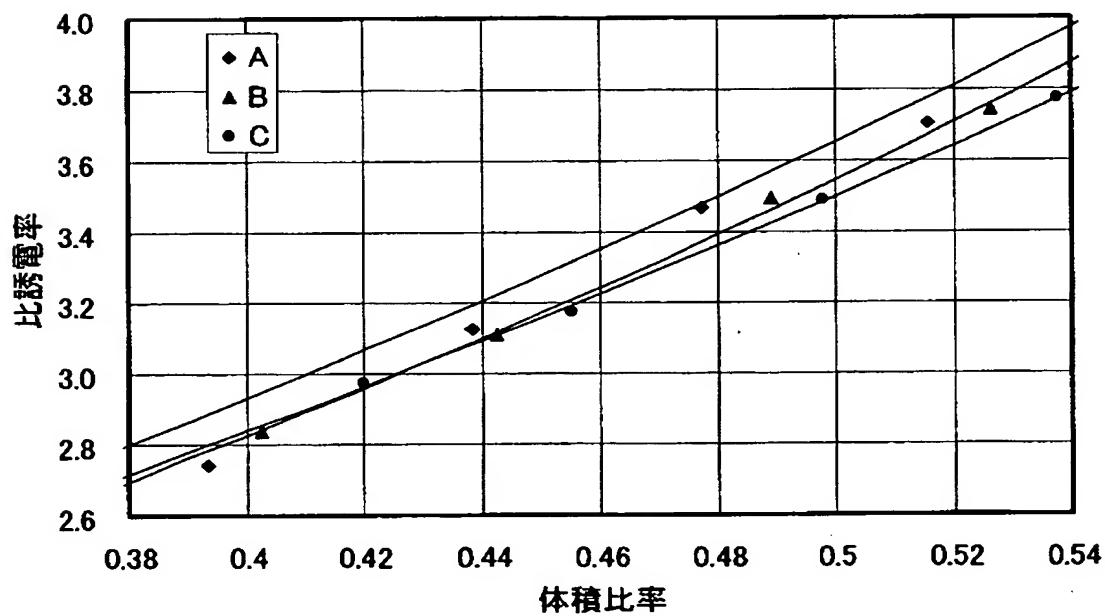
【図7】

リヒトネットカーロータの式



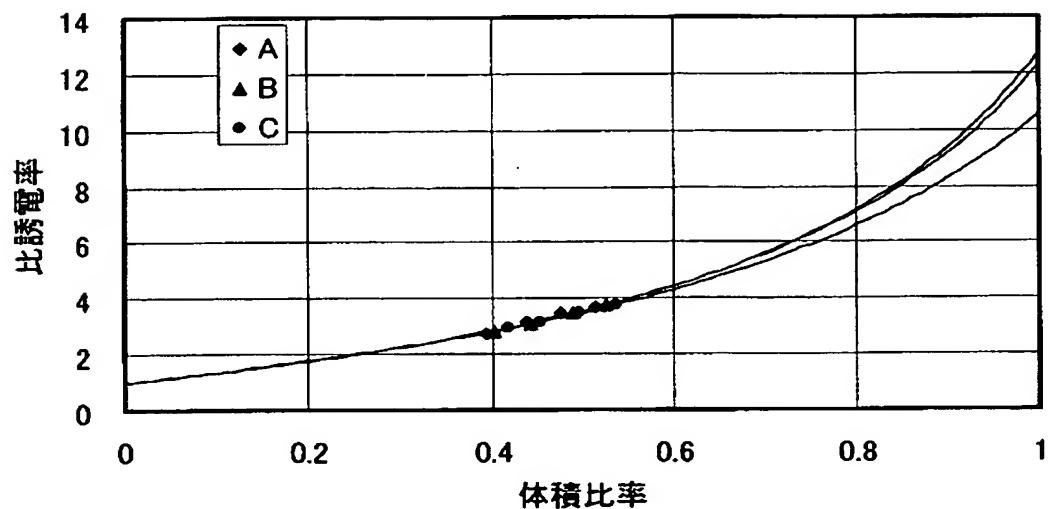
【図8】

リヒトネットカーロータの式



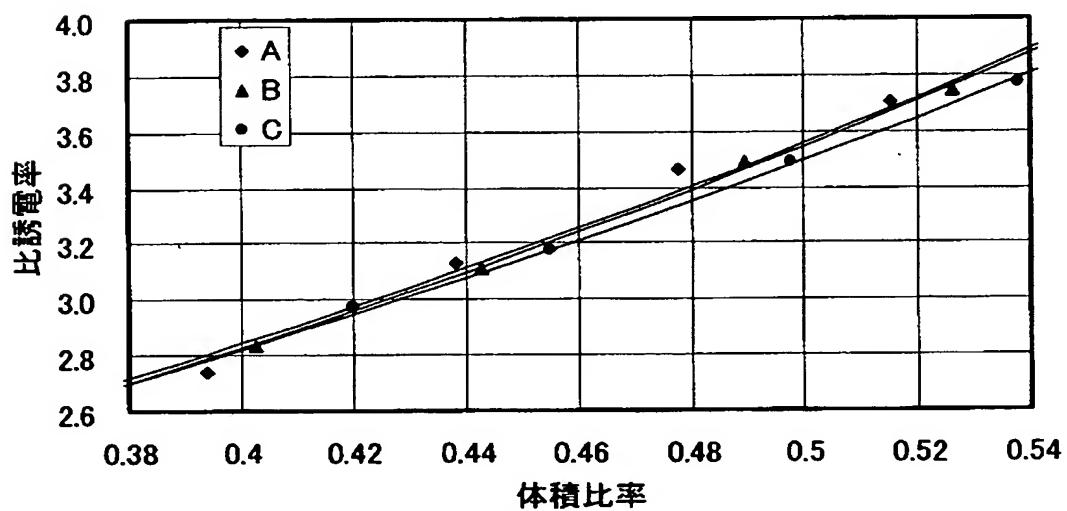
【図9】

ウイナーの式

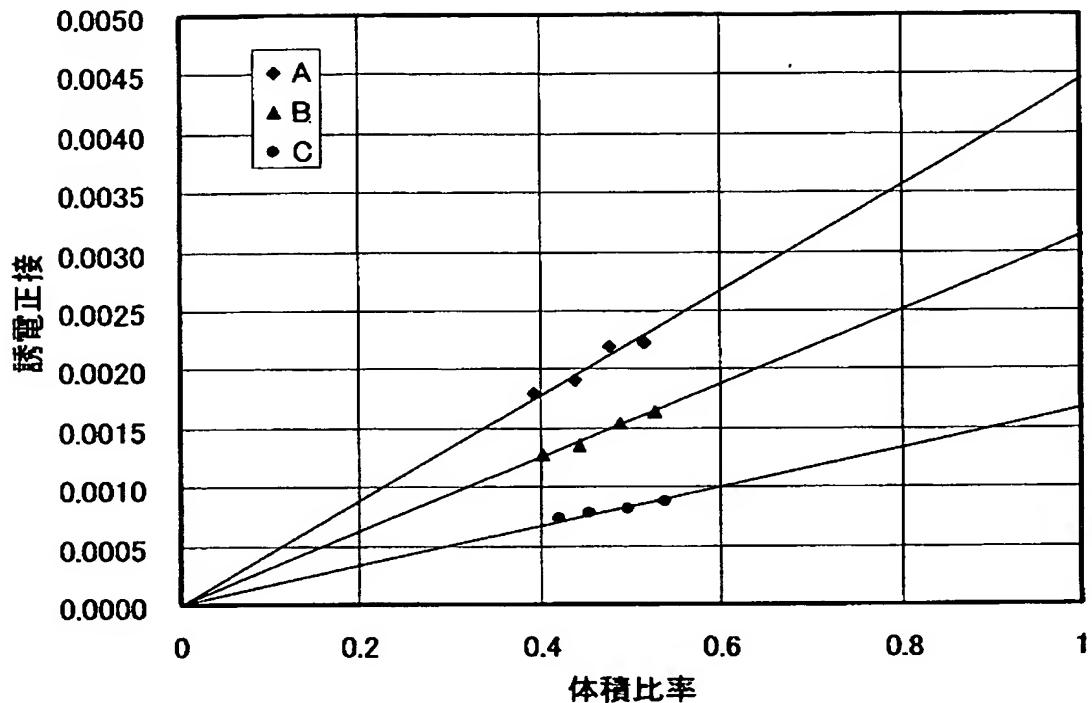


【図10】

ウイナーの式



【図11】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 粉体状の誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法を提供することである。

【解決手段】 粉体状の誘電体および気体が封入された共振器4に、電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器4から出力された電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅をネットワークアライザ6で測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から粉体状の誘電体の複素誘電率を算出する。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-283591
受付番号	50301270883
書類名	特許願
担当官	鎌田 桢規 8045
作成日	平成 15 年 8 月 1 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000003067
--------	-----------

【住所又は居所】	東京都中央区日本橋 1 丁目 13 番 1 号
----------	-------------------------

【氏名又は名称】	T D K 株式会社
----------	------------

【代理人】

【識別番号】	100078031
--------	-----------

【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町 1-4-1 友泉淡路 町ビル 8 階 大石国際特許事務所
----------	--

【氏名又は名称】	大石 皓一
----------	-------

【選任した代理人】

【識別番号】	100121681
--------	-----------

【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町 1 丁目 4 番 1 号 友泉 淡路町ビル 8 階 大石国際特許事務所
----------	---

【氏名又は名称】	緒方 和文
----------	-------

【選任した代理人】

【識別番号】	100126468
--------	-----------

【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町 1 丁目 4 番 1 号 友泉 淡路町ビル 8 階 大石国際特許事務所
----------	---

【氏名又は名称】	田久保 泰夫
----------	--------

特願 2003-283591

出願人履歴情報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 2003年 6月27日

[変更理由] 名称変更

住 所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号

氏 名 TDK株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.